

Rec'd PCT/PTO 13 JAN 2005

R E P U B L I Q U E

F R A N C A I



10/521107
REC'D 03/02/288

REC'D 24 OCT 2003

WIPO

PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 AOUT 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

1er depot

BREVET D'INVENTION CERTIFIÉ D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 540 W / 260899

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE 13 AOÛT 2002

LIEU 75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0210276

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE
PAR L'INPI

13 AOÛT 2002

Vos références pour ce dossier
(facultatif)

62858

11 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

Mariano DOMINGUEZ
THALES - INTELLECTUAL PROPERTY
13, Avenue du Président Salvador Allende
94117 ARCUEIL CEDEX

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale
ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date / /

N°

Date / /

Transformation d'une demande de
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date / /

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espèces maximum)

RECEPTEUR DE POSITIONNEMENT PAR SATELLITE AVEC CORRECTION D'ERREURS D'INTER-CORRELATION

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ
OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE
LA DATE DE DÉPÔT D'UNE
DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date / /

N°

Pays ou organisation

Date / /

N°

Pays ou organisation

Date / /

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

☐ S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

5 DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale

THALES

Prénoms

Forme juridique

S.A.

N° SIREN

5 5 2 0 5 9 0 2 4

Code APE-NAF

Adresse

Rue

173, Boulevard Haussmann

Code postal et ville

75008 PARIS

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone (facultatif)

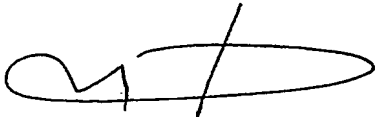
N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE 13 AOUT 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0210276 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		6 2 8 5 8	
6 MANDATAIRE			
Nom		DOMINGUEZ	
Prénom		Mariano	
Cabinet ou Société		THALES - INTELLECTUAL PROPERTY	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		8325	
Adresse	Rue	13, Avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 41 48 45 20	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 41 48 45 01	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Mariano DOMINGUEZ 		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI L. MARIELLO	

RECEPTEUR DE POSITIONNEMENT PAR SATELLITE AVEC CORRECTION D'ERREURS D'INTER-CORRELATION

Les systèmes de positionnement par satellites mettent en œuvre, pour une localisation, plusieurs satellites transmettant leurs positions par des signaux radioélectriques et un récepteur placé à la position à localiser estimant les distances dites pseudo-distances, qui le séparent des satellites à partir des temps de propagation des signaux des satellites captés et effectuant la localisation par triangulation. Plus les positions des satellites sont connues avec précision du récepteur et plus les mesures des pseudo-distances faites par le récepteur sont précises, plus la localisation obtenue est précise.

Les positions des satellites sont déterminées à partir d'un réseau de stations sol de poursuite indépendant des récepteurs de positionnement. Elles sont communiquées aux récepteurs de positionnement par les satellites eux-mêmes par transmission de données. Les pseudo-distances sont déduites par les récepteurs de positionnement des retards apparents présentés par les signaux reçus par rapport aux horloges des satellites qui sont toutes synchrones.

Si la précision de la connaissance des positions des satellites du système de positionnement est indépendante des performances d'un récepteur de positionnement, ce n'est pas le cas de celle des mesures de pseudo-distance qui dépend de la précision des mesures de temps de propagation des signaux, au niveau du récepteur.

Les signaux radioélectriques émis par des satellites parcourant de grandes distances, et étant émis avec des puissances limitées, parviennent avec de très faibles puissances aux récepteurs, noyés dans un bruit radioélectrique dû à l'activité d'émetteurs terrestres souvent puissants et beaucoup plus proches des récepteurs que les satellites qu'ils doivent recevoir. Pour faciliter leurs réceptions on a cherché à les rendre le moins sensible possible aux parasites à bande étroite, en augmentant leurs largeurs de bande au moyen de la technique de la bande étalée. Les systèmes actuels et prévus dans un futur proche, de positionnement par satellites utilisent, pour les signaux radioélectriques émis par leurs satellites, la technique d'étalement de bande par modulation à l'aide de séquences

binaires pseudo-aléatoires, technique dite DSSS (sigle tiré de l'anglo-saxon : "Direct Sequence Spread Spectrum"). Cette modulation DSSS consiste après avoir mis les informations à transmettre sous la forme d'une suite d'éléments binaires à débit régulier, d'effectuer le produit de chaque
5 élément binaire d'information avec une séquence binaire pseudo-aléatoire de débit nettement plus rapide. L'étalement de bande obtenu est proportionnel au rapport des débits de la suite d'éléments binaires d'information et de la suite binaire pseudo-aléatoire d'étalement.

Les informations à transmettre au niveau des satellites, une fois
10 mises sous forme d'une suite de données binaires étalée en fréquence par une modulation DSSS, sont transposées dans la plage de fréquence d'émission par modulation avec une porteuse d'émission. Pour faciliter les mesures des temps de propagation des signaux au niveau d'un récepteur de positionnement et éviter la présence de raies isolées dans les spectres des
15 signaux émis par les satellites, chaque séquence binaire pseudo-aléatoire utilisée pour un étalement en fréquence est constituée d'éléments binaires de même durée prise égale à des multiples entiers des périodes des porteuses d'émission tandis que les différents débits et fréquences utilisées au sein des satellites sont synchronisés et dérivent d'une horloge commune
20 de grande précision.

En réception, les informations binaires contenues dans un signal radioélectrique de satellite d'un système de positionnement sont extraites par deux démodulations effectuées de manière enchevêtrée, une première démodulation à l'aide d'une porteuse engendrée localement par un
25 oscillateur piloté par une boucle de poursuite en fréquence et en phase dite PLL (sigle tiré de l'anglo-saxon : "Phase Lock Loop") permettant de transposer le signal reçu en bande de base et une deuxième démodulation à l'aide de séquences binaires pseudo-aléatoires engendrées localement par un générateur de séquences binaires pseudo-aléatoires piloté par une
30 boucle de poursuite en temps dite DLL (sigle tiré de l'anglosaxon : Delay Lock Loop) permettant de désétalement la suite d'informations binaires présente dans le signal reçu.

Les temps de propagation des signaux reçus se manifestent, en réception, par des retards affectant les séquences binaires pseudo-aléatoires
35 présentes dans les signaux reçus et la porteuse modulant le signal reçu.

Les retards affectant les séquences binaires pseudo-aléatoires sont accessibles, modulo la durée d'un de leurs éléments binaires, au niveau des signaux d'asservissement des boucles de poursuite en temps DLL. Les retards constatés par ces boucles permettent des mesures non ambiguës ou faiblement ambiguës, des temps de propagation des séquences binaires pseudo-aléatoires car les nombres de séquences pseudo-aléatoires entières s'écoulant pendant les trajets des signaux sont relativement petits. On parle de mesures de code.

Par exemple, pour le système de positionnement par satellites GPS (sigle tiré de l'anglo-saxon : Global Positioning System), la séquence binaire pseudo-aléatoire la plus courte, celle utilisée pour l'étalement des signaux de satellites de type C/A (sigle provenant de l'anglo-saxon : "Coarse/Acquisition Code ou Clear/Aquisition Code), est composée de 1023 éléments binaires avec un débit de 1,023 MHz et une durée d'une milliseconde. Sa durée totale correspond à un trajet de 300 Kms pour une onde radioélectrique et permet des mesures de distance modulo de 300 Kms. La durée de 1 microseconde de chacun de ses éléments binaires autorise une précision de l'ordre de 0,1 microsecondes dans la mesure de son retard à la réception correspondant à un trajet de 30 mètres pour une onde radioélectrique. L'ambiguïté des mesures de pseudo-distance obtenues à partir de la séquence binaire pseudo-aléatoire d'un code C/A due au fait que l'on a affaire à des mesures modulo 300 Km est facile à lever dès que le récepteur reçoit plus de quatre satellites car il peut alors faire différents points sur la même position à partir de jeux différents de quatre satellites et ne retenir que la solution commune. En l'absence d'une telle possibilité, l'ambiguïté peut être aussi levée à l'aide d'une connaissance préalable très grossière de la position. Une telle ambiguïté de mesure ne se pose pas avec les signaux de satellite du type P du système GPS qui utilisent pour leur étalement une séquence binaire pseudo-aléatoire d'une durée de 266,41 jours mais ces signaux ne sont pas à libre disposition des utilisateurs.

La figure 1 montre le synoptique d'un récepteur de positionnement par satellite de l'état de l'art. Le récepteur comporte un canal corrélateur 10 attaqué par le signal reçu, provenant d'une part des satellites de positionnement visibles par l'antenne du récepteur, et d'autre part de source perturbatrice.

Le canal corrélateur 10 comporte une voie de corrélation 12 en phase et en quadrature entre le signal reçu S_r et deux respectives porteuses locales F_I , F_Q . Ces porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus) sont générées par un oscillateur à commande numérique de porteuse 14 (NCO p) du récepteur.

Les signaux I, Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse sont ensuite corrélés dans une voie de corrélation de code 16 avec les codes locaux, ponctuel et delta, du satellite considéré, fourni par un générateur numérique de codes locaux 18.

Les corrélations de code sont ensuite intégrées par un respectif intégrateur 20 pour fournir des signaux I_P , I_Δ , Q_P , Q_Δ en sortie du canal corrélateur 10.

Une boucle de porteuse 22 et une boucle de code 24, du récepteur de l'état de l'art, réalisées de façon connue, fournissent respectivement à partir des signaux I_P , I_Δ , Q_P , Q_Δ en sortie du canal corrélateur 10, un signal de vitesse de porteuse V_{pc} pour contrôler l'oscillateur à commande numérique de porteuse (NCO p) 14 générant les deux porteuses locales F_I , F_Q et un signal de vitesse de code V_{cc} pour contrôler l'oscillateur à commande numérique de code 18 générant le code local, ponctuel et delta, pour la voie de corrélation de code.

La radionavigation par satellite nécessite des moyens au sol (segment sol) afin de contrôler et de corriger les signaux émis par les satellites. Les stations sol notamment utilisent des moyens de réception qui fournissent des mesures de code et de porteuse. Ces mesures doivent être extrêmement précises car elles contribuent aux performances ultimes du système.

Ces mesures sont entachées d'erreurs dues aux inter-corrélations entre les signaux émis par tous les satellites visibles depuis les stations sol. En effet bien que les codes d'étalement utilisés soient conçus pour distinguer les signaux des satellites par corrélation, leur décorrélation ne sont pas parfaites du fait de leur longueur limitée et du Doppler dû au mouvement des satellites. Ces erreurs peuvent être gênantes lorsque les codes sont de période courte (codes C/A) et lorsque les vitesses entre le sol et les satellites sont faibles. C'est notamment le cas des satellites GEO des SBAS (Space Based Augmented Systems, type WAAS ou EGNOS) : la faible variation du

Doppler fait que ces erreurs deviennent des biais lentement variables que l'on ne sait pas filtrer. Elles peuvent atteindre plusieurs mètres.

L'idée de l'invention est basée sur l'utilisation de canaux de corrélation supplémentaires en plus du canal de corrélation du signal reçu d'un satellite afin d'estimer en temps réel les erreurs d'inter-corrélation, en code et en porteuse, entre le satellite concerné et tout autre satellite ; que l'on poursuit par ailleurs sur d'autres canaux et dont on connaît aussi de ce fait la position du code et de phase de la porteuse. Ces erreurs estimées peuvent ainsi être corrigées très simplement dans les boucles de poursuite.

L'invention propose à cet effet un récepteur de positionnement par satellites avec correction d'erreurs d'inter-corrélation entre les satellites, le récepteur comportant un canal de corrélation C_{ii} d'ordre i par satellite reçu, avec $i = 1, 2, \dots, N$, N étant le nombre de satellites reçus, chaque canal corrélateur C_{ii} ayant :

- une voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature entre le signal reçu S_r et deux respectives porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus) générées par un oscillateur à commande numérique de porteuse (NCO p) ;

- une voie de corrélation de code à partir des signaux I, Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature, avec les codes locaux du satellite reçu, fourni par un générateur numérique de codes locaux ;

- un intégrateur pour fournir, pour chaque code local, des signaux I_c, Q_c en sortie du canal corrélateur C_{ii} du satellite reçu, c désignant chacun des codes locaux ,

caractérisé en ce qu'il comporte, pour chaque canal corrélateur C_{ii} du satellite reçu autant de canaux corrélateurs supplémentaires C_{ix} que de satellites supplémentaires reçus avec $x = 1, 2, \dots, N$ et x différent de i , et en ce qu'on corrèle les codes locaux du satellite reçu avec les codes locaux des autres satellites supplémentaires C_{ix} .

Dans une réalisation du récepteur selon l'invention les codes locaux du satellite reçu pour la voie de corrélation de code sont un code ponctuel et delta. La voie de corrélation de code comporte en fait deux voies de corrélation :

- une voie ponctuelle (I_P, Q_P),

- une voie delta (I_{Δ} , Q_{Δ}),

Dans une autre réalisation, les codes locaux du satellite reçu pour la voie de corrélation de code sont un code avance, ponctuel et delta. La voie de corrélation de code comporte en fait trois voies de corrélation :

- 5 - une voie avance (I_A , Q_A),
 - une voie ponctuelle (I_P , Q_P), et
 - une voie retard (I_R , Q_R), la voie delta étant reconstituée à partir de la voie avance moins la voie retard par les formules :

$$I_{\Delta} = I_A - I_R$$

$$10 \quad Q_{\Delta} = Q_A - Q_R$$

Dans une première réalisation du récepteur selon l'invention, recevant les N satellites, le récepteur comporte N sous-ensembles de réception S_i . Chaque sous-ensemble S_i de rang i comporte le canal corrélateur C_{ii} du signal du satellite reçu d'ordre i, avec $i = 1, 2, \dots, N$, et N-1 canaux corrélateurs supplémentaires $C_{i1}, \dots, C_{ix}, \dots, C_{iN}$ pour les satellites supplémentaires reçus avec $x = 1, 2, \dots, N$ et x différent de i.

Chaque canal corrélateur C_{ii} de signal reçu est attaqué par son entrée de réception E_r par le signal reçu S_r . Chacun des canaux corrélateurs supplémentaires d'un sous-ensemble S_i , reçoit respectivement, d'une part, à son entrée de signal reçu E_r , un signal local S_{lox} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{lx} par le code local ponctuel C_{px} du canal corrélateur C_{xx} du satellite reçu d'ordre x et, d'autre part, à ses entrées locales de porteuse locale et de codes locaux, les respectives porteuses locales en quadrature F_{li} , F_{Qi} et les codes locaux, C_{pi} et Δ_i , du canal corrélateur C_{ii} du signal reçu du satellite d'ordre i.

L'invention sera mieux comprise à l'aide d'un exemple de réalisation d'un récepteur selon l'invention recevant plus de deux satellites en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, représente un récepteur de l'état de l'art ayant un canal corrélateur ;
 30 - la figure 2 montre un sous-ensemble d'un récepteur selon l'invention recevant N satellites ;
 - la figure 3 montre un récepteur, selon l'invention, pour trois satellites.

- la figure 4 montre un canal corrélateurs fonctionnant en bande de base ;

- la figure 5 montre un sous-ensemble du récepteur selon l'invention fonctionnant en bande de base ;

5 - la figure 6 montre un récepteur en bande de base, selon l'invention, pour trois satellites ;

La figure 2 montre un sous-ensemble d'un récepteur selon l'invention recevant N satellites.

Le récepteur comporte N sous-ensembles de réception pour les N
10 satellites reçus. Chaque sous-ensemble S_i de rang i , avec $i = 2, 3, \dots, N$, comporte un canal corrélateur C_{ii} pour un satellite reçu S_{ati} d'ordre i et $N-1$ corrélateurs supplémentaires $C_{i1}, C_{ix}, \dots, C_{iN}$ pour les satellites supplémentaires $S_{at1}, \dots, S_{atx}, \dots, S_{atN}$, avec x différent de i . Chacun de ces canaux corrélateurs supplémentaires C_{ix} reçoit respectivement, d'une part, à
15 son entrée de signal reçu, un signal local S_{lox} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{ix} par le code local ponctuel C_{px} du canal corrélateur C_{xx} du signal reçu du satellite d'ordre x et, d'autre part, à ses entrées de porteuse locale et de codes locaux, les respectives porteuses locales en quadrature F_{li}, F_{qi} et les codes locaux, ponctuel C_{pi} et delta Δ_i , du canal
20 corrélateur C_{ii} du signal reçu du satellite d'ordre i .

Comme le canal corrélateur de signal reçu C_{ii} , chaque canal corrélateur supplémentaire de rang x dans le sous-ensemble S_i , avec $x = 1, 2, \dots, N$ comporte :

25 - la voie de corrélation de porteuse 12 en phase et en quadrature entre le signal reçu et deux respectives porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus) ;

- la voie de corrélation de code 16 à partir des signaux I, Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature avec les codes locaux ponctuel C_{pi} et delta Δ_i du satellite d'ordre i ;

30 - un intégrateur pour fournir des signaux $I_{pix}, I_{\Delta ix}, Q_{pix}, Q_{\Delta ix}$ en sortie du canal corrélateur.

L'intégrateur du canal corrélateur C_{ii} de signal reçu fournit des signaux $I_{pii}, I_{\Delta ii}, Q_{pii}, Q_{\Delta ii}$.

Le sous-ensemble S_i comporte, en outre :

- un oscillateur à commande numérique de porteuse O_{Pi} (NCO p) pour fournir des porteuses locales F_{Pi} , F_{Qi} pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré et un générateur numérique de codes locaux O_{Ci} (NCO c) pour fournir les codes locaux, ponctuel C_{Pi} et delta Δ_i , pour les N

5 corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré ;

- un multiplicateur M_i fournissant, pour les autres sous-ensembles S_x du récepteur, un signal local S_{loi} , résultant de la modulation de la porteuse locale F_{Pi} par le code ponctuel C_{Pi} du sous-ensemble S_i considéré, pour effectuer la corrélation de code modulé par la porteuse du satellite

10 considéré avec les codes modulés par la porteuse des autres satellites ;

- un correcteur CR_i de corrélation fournissant à partir des signaux I_{Pix} , $I_{\Delta ix}$, Q_{Pix} , $Q_{\Delta ix}$ (x prenant, pour ces signaux I_{Pix} , $I_{\Delta ix}$, Q_{Pix} , $Q_{\Delta ix}$, les valeurs 1 à N) en sortie des N canaux corrélateurs du sous-ensemble considéré S_i et des signaux I_{Pxx} , Q_{Pxx} en sortie des canaux corrélateurs de signal reçu des

15 autres sous-ensembles S_x , avec x différent de i , des signaux corrigés I_{Pi}' , $I_{\Delta i}'$, Q_{Pi}' , $Q_{\Delta i}'$.

- un discriminateur de porteuse D_{Pi} fournissant à travers un correcteur de boucle de porteuse CB_{Pi} un signal de contrôle V_{cpi} de l'oscillateur à commande numérique de porteuse (NCO p) pour fournir des

20 porteuses locales F_{Pi} , F_{Qi} pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré ;

- un discriminateur de boucle de code DC_i fournissant à travers un correcteur de boucle de code CBC_i un signal de contrôle V_{cci} du générateur numérique de code local O_{Ci} (NCO c) pour fournir les codes locaux, ponctuel

25 C_{Pi} et delta Δ_i pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré.

Nous allons traiter par la suite, à titre d'exemple, le cas d'un récepteur selon l'invention configuré pour recevoir trois satellites ($N=3$).

La figure 3 montre un récepteur pour trois satellites comportant un premier S_1 , un deuxième S_2 et un troisième S_3 sous-ensembles de

30 réception ayant trois canaux corrélateurs chacun. Les sous-ensembles de réception S_1 , S_2 et S_3 comportent les mêmes éléments que le sous-ensemble détaillé de la figure 2.

Les premier S_1 , deuxième S_2 , et troisième S_3 sous-ensembles du récepteur de la figure 3 comportent respectivement un premier C_{11} , un

35 deuxième C_{22} et un troisième C_{33} canaux corrélateurs de signal attaqués à

leur entrée de réception E_r par le signal S_r reçu par le récepteur, chaque sous-ensemble comportant, en outre :

- dans le premier sous-ensemble S_1 , deux autres canaux corrélateurs supplémentaires C_{12} et C_{13} attaqués respectivement à leur entrée de réception par des signaux locaux S_{l02} , S_{l03} issus respectivement d'un multiplicateur M_2 et d'un multiplicateur M_3 , le signal S_{l02} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{12} par le code ponctuel C_{p2} du deuxième satellite et le signal S_{l03} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{13} par le code ponctuel C_{p3} du troisième satellite ;

- dans le deuxième sous-ensemble S_2 , deux autres canaux corrélateurs supplémentaires C_{21} et C_{23} attaqués respectivement à leur entrée de réception par des signaux locaux S_{l01} , S_{l03} issus respectivement d'un multiplicateur M_1 et du multiplicateur M_3 , le signal S_{l01} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{11} par le code ponctuel C_{p1} du premier satellite ;

- dans le troisième sous-ensemble S_3 , deux autres canaux corrélateurs supplémentaires C_{31} et C_{32} attaqués à leur entrée de réception par les signaux locaux S_{l01} , S_{l02} issus respectivement des multiplicateurs M_1 et M_2 .

Chaque corrélateur de chacun des sous-ensembles S_i comporte :

- la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature 12 (voir détail du corrélateur à la figure 2) entre le signal à leur entrée de réception et deux respectives porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus), F_{11} , F_{Q1} pour le premier sous-ensemble S_1 , F_{12} , F_{Q2} pour le deuxième S_2 et F_{13} , F_{Q3} pour le troisième S_3 , ces porteuses étant générées respectivement, pour chacun des sous-ensembles S_1 , S_2 et S_3 , par un premier OP_1 , un deuxième OP_2 et un troisième OP_3 oscillateurs à commande numérique de porteuse (NCO p) ;

- la voie de corrélation de code 16 à partir des signaux I , Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature avec les codes locaux, ponctuel C_{p1} , C_{p2} , C_{p3} et delta Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 des satellites, respectivement d'ordre 1, 2, 3, fourni par un générateur numérique de codes locaux OC_1 , OC_2 et OC_3 , respectivement pour chaque sous-ensemble ;

- un intégrateur par canal corrélateur pour fournir respectivement des signaux I_{p1x} , $I_{\Delta 1x}$, Q_{p1x} , $Q_{\Delta 1x}$ en sortie du canal corrélateur C_{1x} ; I_{p2x} , $I_{\Delta 2x}$,

Q_{P2x} , $Q_{\Delta2x}$, en sortie canal corrélateur $C2x$ et I_{P3x} , $I_{\Delta3x}$, Q_{P3x} , $Q_{\Delta3x}$ en sortie canal corrélateur $C3x$, avec $x=1, 2, 3$.

Chaque sous-ensemble de trois corrélateurs comporte :

- un correcteur $Cr1$, $Cr2$, $Cr3$ de corrélations fournissant à partir
 5 des signaux I_{Pix} , $I_{\Delta ix}$, Q_{Pix} , $Q_{\Delta ix}$, avec $i=1, 2, 3$ (et $x=1, 2, 3$), en sortie des 3 canaux corrélateurs du sous-ensemble considéré $S1$, $S2$, $S3$ et des signaux I_{Pxx} , Q_{Pxx} , en sortie des canaux corrélateurs de signal reçu (d'ordre x) des autres sous-ensembles Sx , des signaux corrigés, $I_{P1'}$, $I_{\Delta1'}$, $Q_{P1'}$, $Q_{\Delta1'}$ en sortie du premier correcteur $Cr1$, $I_{P2'}$, $I_{\Delta2'}$, $Q_{P2'}$, $Q_{\Delta2'}$ en sortie du deuxième
 10 correcteur $Cr2$, $I_{P3'}$, $I_{\Delta3'}$, $Q_{P3'}$, $Q_{\Delta3'}$ en sortie du troisième correcteur $Cr3$, les signaux I_{Pxx} , Q_{Pxx} , en sortie des canaux corrélateurs de signal reçu, attaquant les correcteurs, étant les signaux I_{P22} , I_{P33} , Q_{P22} , Q_{P33} pour le correcteur $Cr1$, I_{P11} , I_{P33} , Q_{P11} , Q_{P33} pour le correcteur $Cr2$ et I_{P11} , I_{P22} , Q_{P11} , Q_{P22} pour le correcteur $Cr3$,

15 - un discriminateur de porteuse $DP1$, $DP2$, $DP3$ fournissant respectivement à travers un correcteur de boucle de porteuse $CBP1$, $CBP2$, $CBP3$ un signal de contrôle $Vcp1$, $Vcp2$, $Vcp3$ du respectif oscillateur à commande numérique de porteuse $OP1$, $OP2$, $OP3$ (NCO p) pour fournir des porteuses locales F_{I1} , F_{Q1} , pour le premier sous-ensemble $S1$, F_{I2} , F_{Q2} , pour
 20 le deuxième sous-ensemble $S2$ et F_{I3} , F_{Q3} , pour le troisième sous-ensemble $S3$;

- un discriminateur de boucle de code $DC1$, $DC2$, $DC3$ fournissant respectivement à travers un correcteur de boucle de code $CBC1$, $CBC2$, $CBC3$ un respectif signal de contrôle $Vcc1$, $Vcc2$, $Vcc3$ du générateur
 25 numérique de codes locaux $OC1$, $OC2$, $OC3$ (NCO c) pour fournir les codes locaux ponctuel et delta, $Cp1$, $\Delta1$ pour les trois corrélateurs du premier sous-ensemble $S1$, $Cp2$, $\Delta2$ pour les trois corrélateurs du deuxième sous-ensemble $S2$ et $Cp3$, $\Delta3$ pour les trois corrélateurs du troisième sous-ensemble $S3$.

30 Le récepteur de la figure 3 est configuré pour effectuer les corrections suivantes :

Pour le satellite 1 :

35 Sur la voie ponctuelle :

$$I_{P1}' = I_{P11} - I_{P22} \cdot I_{P12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot I_{P13} \cdot 2/T$$

$$Q_{P1}' = Q_{P11} - I_{P22} \cdot Q_{P12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot Q_{P13} \cdot 2/T$$

- sur la voie delta :

5

$$I_{\Delta 1}' = I_{\Delta 11} - I_{P22} \cdot I_{\Delta 12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot I_{\Delta 13} \cdot 2/T$$

$$Q_{\Delta 1}' = Q_{\Delta 11} - I_{P22} \cdot Q_{\Delta 12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot Q_{\Delta 13} \cdot 2/T$$

soit en notation complexe, avec $j^2 = -1$:

10

$$I_{P1}' + jQ_{P1}' = I_{P11} + jQ_{P11} - I_{P22} (I_{P12} + jQ_{P12}) \cdot 2/T - I_{P33} (I_{P13} + jQ_{P13}) \cdot 2/T$$

$$I_{\Delta 1}' + jQ_{\Delta 1}' = I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - I_{P22} (I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12}) \cdot 2/T - I_{P33} (I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13}) \cdot 2/T$$

15 avec $\frac{T}{2} = \int_0^T (\text{signal local}(t))^2 dt$, T durée d'intégration de l'intégrateur 20 sur la figure 1

Justification :

20 Remarque : sur les figures et, dans le but de simplifier leur lecture, on écrira :

Code local ponctuel_{satellite 1} = Slo1
 Code local ponctuel_{satellite 2} = Slo2
 Code local ponctuel_{satellite 3} = Slo3

25

Par construction :

$$I_{P1} = \int_0^T [\text{signal reçu}(t)] [\text{code local}_{\text{satellite 1}}(t) \cdot \text{porteuse locale en phase}_{\text{satellite 1}}(t)] dt$$

$$Q_{P1} = \int_0^T [\text{signal reçu}(t)] [\text{code local}_{\text{satellite 1}}(t) \cdot \text{porteuse locale en quadrature}_{\text{satellite 1}}(t)] dt$$

30 Soit, en développant, et en négligeant les bruits :

$$I_{P1} = \int_0^T [A_1 \cdot \text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cdot \text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2) +$$

$$A_2 \cdot \text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$Q_{P1} = \int_0^T [A_1 \cdot \text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cdot \text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2) +$$

$$A_2 \cdot \text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt$$

35

$$\begin{aligned}
 I_{P1} = & \int_0^T [A_1 \cdot \text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt \\
 & - A_2 \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt \\
 & - A_3 \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5 \quad Q_{P1} = & \int_0^T [A_1 \cdot \text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt \\
 & - A_2 \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt \\
 & - A_3 \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt
 \end{aligned}$$

10 On voudrait idéalement :

$$\begin{aligned}
 I_{P1}' &= \int_0^T [\text{signal reçu}_{\text{satellite } 1}(t)] [\text{code local}_{\text{satellite } 1}(t) \cdot \text{porteuse locale en phase}_{\text{satellite } 1}(t)] dt \\
 Q_{P1}' &= \int_0^T [\text{signal reçu}_{\text{satellite } 1}(t)] [\text{code local}_{\text{satellite } 1}(t) \cdot \text{porteuse locale en quadrature}_{\text{satellite } 1}(t)] dt
 \end{aligned}$$

15 Soit en développant :

$$\begin{aligned}
 I_{P1}' &= \int_0^T [A_1 \cdot \text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt \\
 Q_{P1}' &= \int_0^T [A_1 \cdot \text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{P1}' &= I_{P1} - A_2 \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt - \\
 20 \quad & A_3 \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{P1}' &= Q_{P1} - A_2 \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt - \\
 & A_3 \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt
 \end{aligned}$$

Sachant que :

$$I_{P12} = \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$Q_{P12} = \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$5 \quad I_{P13} = \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$Q_{P13} = \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt$$

Et, en négligeant les termes d'inter-corrélation entre les satellites, et en supposant que les porteuses locales sont en phase avec les porteuses reçues :

$$I_{P22} = \int_0^T [A_2 \cdot \text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] dt = \frac{T}{2} A_2$$

$$I_{P33} = \int_0^T [A_3 \cdot \text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] dt = \frac{T}{2} A_3$$

15

On obtient bien les formules proposées lorsque l'on remplace les termes de correction par les termes I_{Pix} et Q_{Pix} correspondants.

De même :

20

$$I_{\Delta 1}' = I_{\Delta 1} - A_2 \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{delta}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt -$$

$$A_3 \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{delta}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$Q_{\Delta 1}' = Q_{\Delta 1} - A_2 \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{delta}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt -$$

25

$$A_3 \int_0^T [\text{code}_3(t + \tau_3) \cdot \sin(\omega t + \varphi_3)] [\text{delta}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$I_{\Delta 12} = \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{delta}_1(t + \tau_1) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)] dt$$

$$Q_{\Delta 12} = \int_0^T [\text{code}_2(t + \tau_2) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)] [\text{delta}_1(t + \tau_1) \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)] dt$$

Dans le cas où les porteuses locales ne sont pas tout à fait en phase avec les porteuses reçues, à cause de la dynamique (porteur, horloge récepteur, satellite) on montre que :

5

Pour le premier satellite Sat1 :

- pour la voie ponctuelle :

$$10 \quad \begin{aligned} I_{P1}' &= I_{P11} - (I_{P22} \cdot I_{P12} - Q_{P22} \cdot Q_{P12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot I_{P13} - Q_{P33} \cdot Q_{P13}) \cdot 2/T \\ Q_{P1}' &= Q_{P11} - (I_{P22} \cdot Q_{P12} + Q_{P22} \cdot I_{P12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot Q_{P13} + Q_{P33} \cdot I_{P13}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

- sur la voie delta :

$$15 \quad \begin{aligned} I_{\Delta 1}' &= I_{\Delta 11} - (I_{P22} \cdot I_{\Delta 12} - Q_{P22} \cdot Q_{\Delta 12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot I_{\Delta 13} - Q_{P33} \cdot Q_{\Delta 13}) \cdot 2/T \\ Q_{\Delta 1}' &= Q_{\Delta 11} - (I_{P22} \cdot Q_{\Delta 12} + Q_{P22} \cdot I_{\Delta 12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot Q_{\Delta 13} + Q_{P33} \cdot I_{\Delta 13}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

Soit en notation complexe, avec $j^2 = -1$:

$$20 \quad \begin{aligned} I_{P1}' + jQ_{P1}' &= I_{P11} + jQ_{P11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P12} + jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P13} + jQ_{P13})/T \\ I_{\Delta 1}' + jQ_{\Delta 1}' &= I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13})/T \end{aligned}$$

Pour le deuxième satellite Sat2:

$$25 \quad \begin{aligned} I_{P2}' + jQ_{P2}' &= I_{P22} + jQ_{P22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P21} + jQ_{P21})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P23} + jQ_{P23})/T \\ I_{\Delta 2}' + jQ_{\Delta 2}' &= I_{\Delta 22} + jQ_{\Delta 22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta 21} + jQ_{\Delta 21})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 23} + jQ_{\Delta 23})/T \end{aligned}$$

Pour le troisième satellite Sat3 :

$$30 \quad \begin{aligned} I_{P3}' + jQ_{P3}' &= I_{P33} + jQ_{P33} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P31} + jQ_{P31})/T - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P32} + jQ_{P32})/T \\ I_{\Delta 3}' + jQ_{\Delta 3}' &= I_{\Delta 33} + jQ_{\Delta 33} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta 31} + jQ_{\Delta 31})/T - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 32} + jQ_{\Delta 32})/T \end{aligned}$$

Généralisation :

35 Sur la voie ponctuelle :

$$\begin{aligned} I_{Pi}' &= I_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot I_{Pix} - Q_{Pxx} \cdot Q_{Pix}) \cdot 2/T \\ Q_{Pi}' &= Q_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot Q_{Pix} + Q_{Pxx} \cdot I_{Pix}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

40 Sur la voie delta :

$$\begin{aligned} I_{\Delta i}' &= I_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot I_{\Delta ix} - Q_{Pxx} \cdot Q_{\Delta ix}) \cdot 2/T \\ Q_{\Delta i}' &= Q_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot Q_{\Delta ix} + Q_{Pxx} \cdot I_{\Delta ix}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

Soit en notation complexe, avec $j^2 = -1$:

$$\begin{aligned} I_{Pi}' + j Q_{Pi}' &= I_{Pii} + j Q_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} + j Q_{Pxx})(I_{Pix} + j Q_{Pix})2/T \\ 5 \quad I_{\Delta i}' + j Q_{\Delta i}' &= I_{\Delta ii} + j Q_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} + j Q_{Pxx})(I_{\Delta ix} + j Q_{\Delta ix})2/T \end{aligned}$$

Afin de rendre la notation des indices plus systématique, l'indice ii adresse le canal corrélateur Cii du sous-ensemble Si qui traite le signal reçu, différent des autres canaux corrélateur Cix du sous-ensemble Si qui, eux, traitent les signaux locaux des autres satellites d'ordre respectif x, issus des canaux corrélateurs Cxx des autres sous-ensembles Sx.

Dans une variante du récepteur avec correction d'erreurs d'inter-corrélation, selon l'invention, les canaux corrélateurs sont attaqués en bande de base avec des signaux I et Q.

La figure 4 montre un canal corrélateur 50 fonctionnant avec un signal reçu Br en bande de base. Comme dans le cas du canal corrélateur 10 de la figure 1, le canal corrélateur 50 en bande de base comporte une voie de corrélation 52 en phase et en quadrature entre le signal reçu en bande de base, sous forme de deux signaux I et Q en quadrature, et deux respectives porteuses locales F_I , F_Q . Ces porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus) sont générées par un oscillateur à commande numérique de porteuse 54 (NCO p) du récepteur.

Les signaux I, Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse sont ensuite corrélés dans une voie de corrélation de code 56 avec les codes locaux, ponctuel C_p et delta Δ , fournis par un générateur numérique de codes locaux 58.

Les corrélations de code sont ensuite intégrés par un respectif intégrateur 60 pour fournir des signaux I_P , I_Δ , Q_P , Q_Δ en sortie du canal corrélateur 50.

La figure 5 montre un sous-ensemble de rang i du récepteur selon l'invention fonctionnant en bande de base.

Comme dans le récepteur de la figure 2 fonctionnant avec les signaux reçus, le récepteur en bande de base comporte N sous-ensembles de réception pour N satellites reçus. Chaque sous-ensemble Si de rang i, avec $i = 2, 3, \dots, N$, comporte un canal corrélateur Cii pour un satellite reçu Sati et N-1 corrélateurs supplémentaires Ci1, Cix, ... CiN pour les satellites

supplémentaires Sat1, Satx, ...SatN, avec x différent de i. Le canal corrélateur Cii et les canaux supplémentaires ayant la structure du canal corrélateur en bande de base de la figure 4. Le sous-ensemble Si comporte, en outre :

5 - un oscillateur à commande numérique de porteuse OPi (NCO p) pour fournir des porteuses locales F_{li} , F_{Qi} pour les N corrélateurs du sous-ensemble Si considéré et un générateur numérique de codes locaux OCi (NCO c) pour fournir les codes locaux, ponctuel Cpi et delta Δi , pour les N corrélateurs du sous-ensemble Si considéré ;

10 - un premier Mli et un second MQi multiplicateurs fournissant pour les autres sous-ensembles du récepteur un premier Slli et un second SIQi signaux locaux résultant de la modulation des signaux en quadrature F_{li} et F_{Qi} de la porteuse locale par le code ponctuel Cpi du sous-ensemble considéré, pour effectuer la corrélation de code modulé par la porteuse du satellite considéré avec les codes modulés par la porteuse des autres satellites ;

15 - un correcteur CRI de corrélation fournissant à partir des signaux I_{Pix} , $I_{\Delta ix}$, Q_{Pix} , $Q_{\Delta ix}$ en sortie des N canaux corrélateurs du sous-ensemble considéré Si et des signaux I_{Pxx} , Q_{Pxx} en sortie des canaux corrélateurs de signal reçu des autres sous-ensembles Sx, avec x différent de i, des signaux corrigés I_{Pi}' , $I_{\Delta i}'$, Q_{Pi}' , $Q_{\Delta i}'$.

20 - un discriminateur de porteuse DPi fournissant à travers un correcteur de boucle de porteuse CBPi un signal de contrôle Vcpi de l'oscillateur à commande numérique de porteuse (NCO p) pour fournir des porteuses locales F_{li} , F_{Qi} pour les N corrélateurs du sous-ensemble Si considéré ;

25 - un discriminateur de boucle de code DCi fournissant à travers un correcteur de boucle de code CBCi un signal de contrôle Vcci du générateur numérique de codes locaux OCi (NCO c) pour fournir les codes locaux, ponctuel Cpi et delta Δi pour les N corrélateurs du sous-ensemble Si considéré.

30 La figure 6 montre un récepteur en bande de base pour trois satellites Sat1, Sat2 et Sat3 comportant un premier S1, un deuxième S2 et un troisième S3 sous-ensembles de réception ayant trois canaux corrélateurs chacun. Les sous-ensembles de réception S1, S2 et S3 comportent les

mêmes éléments que le sous-ensemble détaillé de la figure 4 fonctionnant en bande de base.

Le récepteur de la figure 6 est configuré pour effectuer les mêmes corrections que celles du récepteur de la figure 3 sauf que l'on remplace $T/2$ par T dans les formules de correction.

Par exemple pour le satellite 1 :

$$I_{P1}' + jQ_{P1}' = I_{P11} + jQ_{P11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P12} + jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P13} + jQ_{P13})/T$$

$$I_{\Delta 1}' + jQ_{\Delta 1}' = I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13})/T$$

Dans une variante de configuration, le récepteur selon l'invention utilise trois corrélateurs de code :

- une voie avance (I_A, Q_A),
- une voie ponctuelle (I_P, Q_P), et
- une voie retard (I_R, Q_R), la voie delta étant équivalente à la voie avance moins la voie retard.

Dans une autre variante du récepteur selon l'invention, on applique le même procédé sur la voie delta reconstituée en sortie des corrélateurs par les formules :

$$I_{\Delta ix} = I_{Aix} - I_{Rix}$$

$$Q_{\Delta ix} = Q_{Aix} - Q_{Rix}$$

Les inter-corrélations sont calculées deux fois dans la description précédente. En fait, il est possible d'économiser des corrélateurs grâce à la formule ci-dessous :

Pour le premier satellite Sat1, on calcule ($I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta$)₁₂ et ($I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta$)₁₃ en plus de ($I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta$)₁₁

$$I_{P1}' + jQ_{P1}' = I_{P11} + jQ_{P11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P12} + jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P13} + jQ_{P13})/T$$

$$I_{\Delta 1}' + jQ_{\Delta 1}' = I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13})/T$$

Pour le deuxième satellite Sat2, on calcule ($I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta$)₂₃ en plus de ($I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta$)₂₂

$$I_{P2}' + jQ_{P2}' = I_{P22} + jQ_{P22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P12} + jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P23} + jQ_{P23})/T$$

$$I_{\Delta 2}' + jQ_{\Delta 2}' = I_{\Delta 22} + jQ_{\Delta 22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 23} + jQ_{\Delta 23})/T$$

Pour le troisième satellite 3, on ne calcule rien de plus que $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{33}$

$$\begin{aligned} 5 \quad I_{P3}' + jQ_{P3}' &= I_{P33} + jQ_{P33} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P13} - jQ_{P13})/T - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P23} - jQ_{P23})/T \\ I_{\Delta 3}' + jQ_{\Delta 3}' &= I_{\Delta 33} + jQ_{\Delta 33} + (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta 13} - jQ_{\Delta 13})/T + (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 23} - jQ_{\Delta 23})/T \end{aligned}$$

En généralisant, pour $x > i$:

$$\begin{aligned} 10 \quad I_{Pxi} &= + I_{Pix} \\ Q_{Pxi} &= - Q_{Pix} \\ I_{\Delta xi} &= - I_{\Delta ix} \\ Q_{\Delta xi} &= + Q_{\Delta ix} \end{aligned}$$

En résumé, au lieu d'avoir $N^2 - N$ canaux corrélateurs en plus on en a

$$15 \quad (N^2 - N)/2.$$

Les termes I_{Pij} et Q_{Pij} dans les formules, estimation de l'amplitude complexe des signaux reçus respectivement des satellites i , ne tiennent pas compte des corrections. Afin d'améliorer la précision, on pourrait les remplacer par I_{Pi}' et Q_{Pi}' dans les formules. Dans ce cas, elles deviennent :

$$\begin{aligned} 20 \quad I_{Pi}' + jQ_{Pi}' &= I_{Pii} + jQ_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + jQ_{Px}') (I_{Pix} + jQ_{Pix})/2T \\ I_{\Delta i}' + jQ_{\Delta i}' &= I_{\Delta ii} + jQ_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + jQ_{Px}') (I_{\Delta ix} + jQ_{\Delta ix})/2T \end{aligned}$$

La problème qui se pose alors est que l'application des formules demande des entrées I_{Pi}' et Q_{Pi}' qui sont elles mêmes les sorties du calcul. Afin de pallier à cela, dans une variante du récepteur selon l'invention, on peut utiliser à chaque itération du calcul les termes corrigés I_{Pi}' et Q_{Pi}' de l'itération précédente, en initialisant le calcul avec des termes I_{Pii} et Q_{Pii} non corrigés, après la phase d'acquisition et de convergence :

$$\begin{aligned} 30 \quad (I_{Pi}' + jQ_{Pi}')_n &= (I_{Pii} + jQ_{Pii})_n - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + jQ_{Px}')_{n-1} \cdot (I_{Pix} + jQ_{Pix})_n \cdot 2/T \\ (I_{\Delta i}' + jQ_{\Delta i}')_n &= (I_{\Delta ii} + jQ_{\Delta ii})_n - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + jQ_{Px}')_{n-1} \cdot (I_{\Delta ix} + jQ_{\Delta ix})_n \cdot 2/T \end{aligned}$$

L'itération indiquée par n peut être soit dans le temps, correspondant à chaque fois à des données nouvelles, soit celle d'un calcul récursif convergeant vers la solution idéale. Dans une variante du récepteur selon

l'invention, lorsque le signal reçu est filtré (spectre limité), il est possible et recommandé d'appliquer le même filtrage aux signaux locaux. Cela oblige par contre, à mettre en place un filtre pour chaque signal local, donc un par satellite, contrairement au signal reçu qui est unique.

5 Nous allons voir, par la suite, un procédé d'acquisition du signal par le récepteur selon l'invention.

On acquiert un premier satellite, sans correction, par un processus de recherche classique en boucle ouverte, bien connu de l'homme de l'art. A l'issue de ce processus, on passe en poursuite, on en déduit le signal local
10 de ce premier satellite et on corrige les inter-corrélations sur les autres canaux en phase de recherche (en boucle ouverte). Cela permet d'acquérir les satellites les plus faibles (en dernier) en réduisant le risque de se tromper à cause d'une corrélation avec le signal d'un autre satellite plus puissant.

A chaque fois qu'un nouveau satellite est acquis et poursuivi, on
15 calcul et on applique les corrections d'intercorrélation sur les mesures de tous les autres satellites déjà poursuivis.

Le récepteur selon l'invention présente une excellente stabilité. En effet, du fait que les coefficients d'inter-corrélation sont nettement inférieurs à 1 (-24 dB pour les codes C/A), les boucles de poursuites sont
20 stables et convergent vers un état où il n'y a plus d'erreur d'inter-corrélation.

Le récepteur selon l'invention permet l'estimation des erreurs d'inter-corrélation en temps réel, sur les échantillons cumulés I et Q ponctuels et deltas, grâce à des canaux supplémentaires, par corrélation entre les codes locaux des satellites poursuivis et la correction des
25 échantillons cumulés I et Q ponctuels et deltas avant les discriminateurs de phase de porteuse et de code.

Le récepteur selon l'invention élimine complètement les erreurs d'inter-corrélation entre tous les satellites dont le signal est poursuivi, en régime permanent, après une phase de convergence rapide. Les erreurs
30 résiduelles, dues aux bruits thermiques et aux traînages des boucles, dépendent du rapport signal sur bruit, de la dynamique et des bandes de boucle. Pour des applications à très faible dynamique (station sol) le gain de la méthode peut être très important, faisant passer l'erreur de mesure de quelques mètres à quelques dizaines de centimètres, soit un facteur 10.

REVENDICATIONS

1. Récepteur de positionnement par satellites avec correction d'erreurs d'inter-corrélation entre les satellites, le récepteur comportant un
5 canal de corrélation Cii d'ordre i par satellite reçu, avec $i = 1, 2, \dots, N$, N étant le nombre de satellites reçus (Sat1, Sat2, ...SatN), chaque canal corrélateur Cii ayant :

- une voie de corrélation de porteuse (12), en phase et en quadrature entre le signal reçu (S_r , B_r) et deux respectives porteuses
10 locales en quadrature (sinus, cosinus) générées par un oscillateur à commande numérique de porteuse (NCO p) ;

- une voie de corrélation de code (16) à partir des signaux I, Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature, avec les codes locaux du satellite reçu, fourni par un générateur numérique de
15 codes locaux ;

- un intégrateur (20) pour fournir, pour chaque code local, des signaux I_c , Q_c en sortie du canal corrélateur Cii du satellite reçu, c désignant
chacun des codes locaux ,

caractérisé en ce qu'il comporte, pour chaque canal corrélateur Cii
20 du satellite reçu autant de canaux corrélateurs supplémentaires Cix que de satellites supplémentaires reçus avec $x = 1, 2, \dots, N$ et x différent de i, et en ce qu'on corréle les codes locaux du satellite reçu avec les codes locaux des autres satellites supplémentaires Cix.

25 2. Récepteur de positionnement par satellites selon la revendication 1, caractérisé en ce que les codes locaux du satellite reçu pour la voie de corrélation de code (16, 56) sont un code ponctuel et un code delta, la voie de corrélation de code comportant en fait deux voies de corrélation :

30 - une voie ponctuelle (I_P , Q_P),
- une voie delta (I_Δ , Q_Δ).

3. Récepteur de positionnement par satellites selon la revendication 1, caractérisé en ce que les codes locaux du satellite reçu pour
35 la voie de corrélation de code (16, 56) sont un code ponctuel, un code avance et un code retard, et en ce que l'intégrateur (20) fournit des signaux (I_P ,

Q_P, I_A, Q_A, I_R, Q_R), la voie de corrélation de code comportant trois voies de corrélation :

- une voie avance (I_A, Q_A),
- une voie ponctuelle (I_P, Q_P), et
- 5 - une voie retard (I_R, Q_R), la voie delta étant reconstituée à partir de la voie avance moins la voie retard par les formules :

$$I_\Delta = I_A - I_R$$

$$Q_\Delta = Q_A - Q_R$$

10 4. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte N sous-ensembles de réception S_i , chaque sous-ensemble S_i de rang i ayant le canal corrélateur C_{ii} du signal du satellite reçu d'ordre i et N-1 canaux corrélateurs supplémentaires $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{iN}$ pour les satellites supplémentaires
 15 reçus, $x = 1, 2, \dots, N$ et x différent de i , chaque canal corrélateur C_{ii} de signal reçu étant attaqué par son entrée de réception (E_r) par le signal reçu (S_r), chacun des canaux corrélateurs supplémentaires d'un sous-ensemble S_i , recevant respectivement, d'une part, à son entrée de signal reçu (E_r), un signal local S_{lox} résultant de la modulation de la porteuse locale (F_{lx}) par le
 20 code local ponctuel (C_{px}) du canal corrélateur C_{xx} du satellite reçu d'ordre x , et, d'autre part, à ses entrées locales de porteuse locale et des codes locaux, les respectives porteuses locales en quadrature (F_{li}, F_{qi}) et les codes locaux (C_{pi} et Δ_i) du canal corrélateur (C_{ii} du signal reçu du satellite d'ordre i).

25 5. Récepteur de positionnement par satellite selon la revendication 4, caractérisé en ce chaque canal corrélateur C_{ix} de rang x dans le sous-ensemble S_i , avec $x = 1, 2, \dots, N$, comporte :

- la voie de corrélation de porteuse (12) en phase et en quadrature entre le signal reçu et deux respectives porteuses locales en quadrature
 30 (sinus, cosinus) ;
- la voie de corrélation de code (16) à partir des signaux I, Q en sortie de la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature avec les codes locaux ponctuel (C_{pi}) et delta (Δ_i) du satellite d'ordre i ;
- un intégrateur (20) pour fournir des signaux $I_{pix}, I_{\Delta ix}, Q_{pix}, Q_{\Delta ix}$ en
 35 sortie du canal corrélateur,

le sous-ensemble S_i comportant, en outre :

- un oscillateur à commande numérique de porteuse (O P_i) (NCO p) pour fournir des porteuses locales F_{li} , F_{Qi} pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré et un générateur numérique de codes locaux (O C_i) pour fournir le codes locaux, ponctuel (C p_i) et delta (Δi), pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré ;
 - un multiplicateur M_i fournissant pour les autres sous-ensembles S_x du récepteur un signal local S_{loi} , résultant de la modulation du la porteuse locale (F_{li}) par le code ponctuel (C p_i) du sous-ensemble considéré S_i , pour effectuer la corrélation de code modulé par la porteuse du satellite considéré avec les codes modulés par les porteuses des autres satellites ;
 - un correcteur C R_i de corrélation fournissant à partir des signaux $I_{P_{ix}}$, $I_{\Delta ix}$, $Q_{P_{ix}}$, $Q_{\Delta ix}$ en sortie des N canaux corrélateurs du sous-ensemble considéré (S_i), x prenant, pour ces signaux $I_{P_{ix}}$, $I_{\Delta ix}$, $Q_{P_{ix}}$, $Q_{\Delta ix}$, les valeurs 1 à N, et des signaux $I_{P_{xx}}$, $I_{Q_{xx}}$ en sortie des canaux corrélateurs C xx de signal reçu des autres sous-ensembles S_x , des signaux corrigés $I_{P_i'}$, $I_{\Delta i'}$, $Q_{P_i'}$, $Q_{\Delta i'}$.
-
- un discriminateur de porteuse D P_i fournissant à travers un correcteur de boucle de porteuse C B_{P_i} un signal de contrôle V_{cpi} de l'oscillateur à commande numérique de porteuse (NCO p) pour fournir des porteuses locales (F_{li} , F_{Qi}) pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré ;
 - un discriminateur de boucle de code D C_i fournissant à travers un correcteur de boucle de code C B_{C_i} un signal de contrôle V_{cci} du générateur numérique de codes locaux (O C_i) (NCO c) pour fournir les codes locaux, ponctuel (C p_i) et delta (Δi) pour les N corrélateurs du sous-ensemble S_i considéré.

6. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte un premier (S_1), un deuxième (S_2) et un troisième (S_3) sous-ensemble de réception ayant trois canaux corrélateurs chacun pour recevoir trois satellites .

7. Récepteur de positionnement par satellite selon la revendication 6, caractérisé en ce que les premier (S_1), deuxième (S_2), et troisième sous-ensembles (S_3) du récepteur comportent respectivement un premier (C11),

un deuxième (C22) et un troisième (C33) canaux corrélateurs de signal attaqués à leur entrée de réception (E_r) par le signal S_r reçu par le récepteur, chaque sous-ensemble comportant en outre :

- dans le premier sous-ensemble (S1), deux autres canaux
5 corrélateurs supplémentaires C12 et C13 attaqués respectivement à leur entrée de réception par des signaux locaux S_{lo2} , S_{lo3} issus respectivement d'un multiplicateur M2 et d'un multiplicateur M3, le signal S_{lo2} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{12} par le code ponctuel Cp_2 du deuxième satellite et le signal S_{lo3} résultant de la modulation de la porteuse locale F_{13}
10 par le code ponctuel Cp_3 du troisième satellite ;

- dans le deuxième sous-ensemble (S2), deux autres canaux
corrélateurs supplémentaires C21 et C23 attaqués respectivement à leur entrée de réception par des signaux locaux S_{lo1} , S_{lo3} issus respectivement d'un multiplicateur M1 et du multiplicateur M3, le signal S_{lo1} résultant de la
15 modulation de la porteuse locale F_{11} par le code ponctuel Cp_1 du premier satellite ;

- dans le troisième sous-ensemble (S3), deux autres canaux
corrélateurs supplémentaire C31 et C32 attaqués à leur entrée de réception par les signaux locaux S_{lo1} , S_{lo2} issus respectivement des multiplicateurs
20 M1 et M2 ;

chaque corrélateur de chacun des sous-ensembles comportant :

- la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature (12)
entre le signal à leur entrée de réception et deux respectives porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus), F_{11} , F_{Q1} pour le premier sous-
25 ensemble (S1), F_{12} , F_{Q2} pour le deuxième (S2) et F_{13} , F_{Q3} pour le troisième (S3), ces porteuses étant générées respectivement, pour chacun des sous-ensembles (S1, S2 et S3), par un premier (OP1), un deuxième (OP2) et un troisième (OP3) oscillateurs à commande numérique de porteuse (NCO p) ;

- la voie de corrélation de code (16) à partir des signaux I, Q en
30 sortie de la voie de corrélation de porteuse en phase et en quadrature avec les codes locaux, ponctuel (Cp_1 , Cp_2 , Cp_3) et delta (Δ_1 , Δ_2 , Δ_3) des satellites respectivement d'ordre 1, 2, 3, fournis par un générateur numérique de codes locaux (OC1, OC2 et OC3) respectivement pour chaque sous-ensemble ;

- un intégrateur par canal corrélateur pour fournir respectivement des signaux I_{P1x} , $I_{\Delta1x}$, Q_{P1x} , $Q_{\Delta1x}$ en sortie du canal corrélateur C1x ; I_{P2x} , $I_{\Delta2x}$, Q_{P2x} , $Q_{\Delta2x}$, en sortie canal corrélateur C2x et I_{P3x} , $I_{\Delta3x}$, Q_{P3x} , $Q_{\Delta3x}$ en sortie canal corrélateur C3x, avec $x=1, 2, 3$,

5 chaque sous-ensemble de trois corrélateurs comportant :

- un correcteur (Cr1, Cr2, Cr3) de corrélations fournissant à partir des signaux I_{Pix} , $I_{\Delta ix}$, Q_{Pix} , $Q_{\Delta ix}$, avec $i=1, 2, 3$, en sortie des N canaux corrélateurs du sous-ensemble considéré (S1, S2, S3) et des signaux I_{Pxx} , Q_{Pxx} , en sortie des canaux corrélateurs de signal reçu (d'ordre x) des autres sous-ensembles (Sx), des signaux corrigés, $I_{P1'}$, $I_{\Delta1'}$, $Q_{P1'}$, $Q_{\Delta1'}$ en sortie du premier correcteur Cr1, $I_{P2'}$, $I_{\Delta2'}$, $Q_{P2'}$, $Q_{\Delta2'}$ en sortie du deuxième correcteur Cr2, $I_{P3'}$, $I_{\Delta3'}$, $Q_{P3'}$, $Q_{\Delta3'}$ en sortie du troisième correcteur Cr3, les signaux I_{Pxx} , Q_{Pxx} , en sortie des canaux corrélateurs de signal reçu, attaquant les correcteurs, étant les signaux I_{P22} , I_{P33} , Q_{P22} , Q_{P33} pour le correcteur Cr1, I_{P11} , I_{P33} , Q_{P11} , Q_{P33} pour le correcteur Cr2 et I_{P11} , I_{P22} , Q_{P11} , Q_{P22} pour le correcteur Cr3,

- un discriminateur de porteuse (DP1, DP2, DP3) fournissant respectivement à travers un correcteur de boucle de porteuse (CBP1, CBP2, CBP3) un signal de contrôle (V_{cp1} , V_{cp2} , V_{cp3}) du respectif l'oscillateur à commande numérique de porteuse (OP1, OP2, OP3) (NCO p) pour fournir des porteuses locales F_{11} , F_{Q1} , pour le premier sous-ensemble (S1), F_{12} , F_{Q2} pour le deuxième sous-ensemble (S2) et F_{13} , F_{Q3} pour le troisième sous-ensemble (S3);

- un discriminateur de boucle de code (DC1, DC2, DC3) fournissant respectivement à travers un correcteur de boucle de code (CBC1, CBC2, CBC3) un respectif signal de contrôle V_{cc1} , V_{cc2} , V_{cc3} du générateur numérique de codes locaux (OC1, OC2, OC3) (NCO c) pour fournir les codes locaux, ponctuel et delta (C_{p1} , $\Delta1$) pour les trois corrélateurs du premier sous-ensemble (S1), (C_{p2} , $\Delta2$) pour les trois corrélateurs du deuxième sous-ensemble (S2) et (C_{p3} , $\Delta3$) pour les trois corrélateurs du troisième sous-ensemble (S3).

8. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce qu'il est configuré pour effectuer les corrections suivantes :

pour le premier satellite Sat1 :

- sur la voie ponctuelle :

$$\begin{aligned} 5 \quad I_{P1}' &= I_{P11} - I_{P22} \cdot I_{P12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot I_{P13} \cdot 2/T \\ Q_{P1}' &= Q_{P11} - I_{P22} \cdot Q_{P12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot Q_{P13} \cdot 2/T \end{aligned}$$

- sur la voie delta :

$$\begin{aligned} 10 \quad I_{\Delta 1}' &= I_{\Delta 11} - I_{P22} \cdot I_{\Delta 12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot I_{\Delta 13} \cdot 2/T \\ Q_{\Delta 1}' &= Q_{\Delta 11} - I_{P22} \cdot Q_{\Delta 12} \cdot 2/T - I_{P33} \cdot Q_{\Delta 13} \cdot 2/T ; \end{aligned}$$

- soit en notation complexe, avec $j^2 = -1$:

$$\begin{aligned} 15 \quad I_{P1}' + jQ_{P1}' &= I_{P11} + jQ_{P11} - I_{P22} (I_{P12} + jQ_{P12}) \cdot 2/T - I_{P33} (I_{P13} + jQ_{P13}) \cdot 2/T \\ I_{\Delta 1}' + jQ_{\Delta 1}' &= I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - I_{P22} (I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12}) \cdot 2/T - I_{P33} (I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

avec $\frac{T}{2} = \int_0^T (\text{signal local}(t))^2 dt$, T période d'intégration de l'intégrateur (20).

20

9. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que dans le cas où les porteuses locales ne sont pas tout à fait en phase avec les porteuses reçues on montre que :

pour le premier satellite Sat1 :

- sur la voie ponctuelle :

$$\begin{aligned} 30 \quad I_{P1}' &= I_{P11} - (I_{P22} \cdot I_{P12} - Q_{P22} \cdot Q_{P12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot I_{P13} - Q_{P33} \cdot Q_{P13}) \cdot 2/T \\ Q_{P1}' &= Q_{P11} - (I_{P22} \cdot Q_{P12} + Q_{P22} \cdot I_{P12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot Q_{P13} + Q_{P33} \cdot I_{P13}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

- sur la voie delta :

$$\begin{aligned} 35 \quad I_{\Delta 1}' &= I_{\Delta 11} - (I_{P22} \cdot I_{\Delta 12} - Q_{P22} \cdot Q_{\Delta 12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot I_{\Delta 13} - Q_{P33} \cdot Q_{\Delta 13}) \cdot 2/T \\ Q_{\Delta 1}' &= Q_{\Delta 11} - (I_{P22} \cdot Q_{\Delta 12} + Q_{P22} \cdot I_{\Delta 12}) \cdot 2/T - (I_{P33} \cdot Q_{\Delta 13} + Q_{P33} \cdot I_{\Delta 13}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

- soit en notation complexe, avec $j^2 = -1$:

40

$$\begin{aligned} I_{P1}' + jQ_{P1}' &= I_{P11} + jQ_{P11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P12} + jQ_{P12})2/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P13} + jQ_{P13})2/T \\ I_{\Delta 1}' + jQ_{\Delta 1}' &= I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12})2/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13})2/T \end{aligned}$$

pour le deuxième satellite Sat2 :

$$\begin{aligned} I_{P2}' + jQ_{P2}' &= I_{P22} + jQ_{P22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P21} + jQ_{P21})2/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P23} + jQ_{P23})2/T \\ 5 \quad I_{\Delta2}' + jQ_{\Delta2}' &= I_{\Delta22} + jQ_{\Delta22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta21} + jQ_{\Delta21})2/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta23} + jQ_{\Delta23})2/T \end{aligned}$$

et en ce que pour le troisième satellite Sat3 :

$$\begin{aligned} I_{P3}' + jQ_{P3}' &= I_{P33} + jQ_{P33} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P31} + jQ_{P31})2/T - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P32} + jQ_{P32})2/T \\ 10 \quad I_{\Delta3}' + jQ_{\Delta3}' &= I_{\Delta33} + jQ_{\Delta33} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta31} + jQ_{\Delta31})2/T - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta32} + jQ_{\Delta32})2/T \end{aligned}$$

et en ce qu'en généralisant :

- sur la voie ponctuelle :

$$\begin{aligned} 15 \quad I_{Pi}' &= I_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot I_{Pix} - Q_{Pxx} \cdot Q_{Pix}) \cdot 2/T \\ Q_{Pi}' &= Q_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot Q_{Pix} + Q_{Pxx} \cdot I_{Pix}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

- sur la voie delta :

$$\begin{aligned} 20 \quad I_{\Delta i}' &= I_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot I_{\Delta ix} - Q_{Pxx} \cdot Q_{\Delta ix}) \cdot 2/T \\ Q_{\Delta i}' &= Q_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} \cdot Q_{\Delta ix} + Q_{Pxx} \cdot I_{\Delta ix}) \cdot 2/T \end{aligned}$$

soit en notation complexe, avec $j^2 = -1$:

$$\begin{aligned} 25 \quad I_{Pi}' + jQ_{Pi}' &= I_{Pii} + jQ_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} + jQ_{Pxx})(I_{Pix} + jQ_{Pix})2/T \\ I_{\Delta i}' + jQ_{\Delta i}' &= I_{\Delta ii} + jQ_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Pxx} + jQ_{Pxx})(I_{\Delta ix} + jQ_{\Delta ix})2/T \end{aligned}$$

30

10. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que chaque canal corrélateur (50) fonctionne avec un signal reçu (Br) en bande de base, sous forme de deux signaux I et Q en quadrature.

35

11. Récepteur de positionnement par satellite selon la revendication 10, caractérisé en ce que le canal corrélateur (50) en bande de

base comporte une voie de corrélation (52) en phase et en quadrature entre le signal reçu en bande de base, sous forme de deux signaux I et Q en quadrature, et deux respectives porteuses locales F_I , F_Q , ces porteuses locales en quadrature (sinus, cosinus) étant générées par un oscillateur à commande numérique de porteuse (54) (NCO p) du récepteur.

12. Récepteur de positionnement par satellite selon la revendication 11, caractérisé en ce que le récepteur en bande de base comporte N sous-ensembles de réception pour N satellites reçus, chaque sous-ensemble S_i de rang i, avec $i = 2, 3, \dots N$, comporte un canal corrélateur C_{ii} pour un satellite reçu S_{ati} et N-1 corrélateurs supplémentaires C_{i1} , C_{ix} , ... C_{iN} pour les satellites supplémentaires $Sat1$, $Satx$, ... $SatN$, avec x différent de i, le canal corrélateur C_{ii} et les canaux supplémentaires de chaque sous-ensemble S_i comportant en outre :

15 - un premier M_{li} et un second M_{Qi} multiplicateurs fournissant pour les autres sous-ensembles du récepteur un premier SL_{li} et un second SL_{Qi} signaux locaux résultant de la modulation des signaux en quadrature F_{Qi} et F_{li} de la porteuse locale par le code ponctuel C_{pi} du sous-ensemble considéré, pour effectuer la corrélation de code modulé par la porteuse du satellite considéré avec les codes modulés par la porteuse des autres satellites.

13. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce qu'il est configuré pour effectuer les corrections suivantes :

pour le premier satellite $Sat1$:

$$I_{P1'} + jQ_{P1'} = I_{P11} + jQ_{P11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P12} + jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P13} + jQ_{P13})/T$$

$$I_{\Delta 1'} + jQ_{\Delta 1'} = I_{\Delta 11} + jQ_{\Delta 11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta 12} + jQ_{\Delta 12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta 13} + jQ_{\Delta 13})/T$$

14. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 3 à 13, caractérisé en ce que la voie delta est reconstituée en sortie des corrélateurs par les formules :

$$I_{\Delta ix} = I_{Aix} - I_{Rix}$$

$$Q_{\Delta ix} = Q_{Aix} - Q_{Rix}$$

15. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que, pour économiser des corrélateurs, les inter-corrélations sont calculées par :

5

- pour le premier satellite Sat1, par $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{12}$ et $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{13}$ en plus de $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{11}$

$$10 \quad \begin{aligned} I_{P1}' + jQ_{P1}' &= I_{P11} + jQ_{P11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P12} + jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P13} + jQ_{P13})/T \\ I_{\Delta1}' + jQ_{\Delta1}' &= I_{\Delta11} + jQ_{\Delta11} - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta12} + jQ_{\Delta12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta13} + jQ_{\Delta13})/T \end{aligned}$$

- pour le deuxième satellite Sat2, par $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{23}$ en plus de $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{22}$

$$15 \quad \begin{aligned} I_{P2}' + jQ_{P2}' &= I_{P22} + jQ_{P22} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P12} - jQ_{P12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{P23} + jQ_{P23})/T \\ I_{\Delta2}' + jQ_{\Delta2}' &= I_{\Delta22} + jQ_{\Delta22} + (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta12} - jQ_{\Delta12})/T - (I_{P33} + jQ_{P33})(I_{\Delta23} + jQ_{\Delta23})/T \end{aligned}$$

et en ce que pour le troisième satellite St3, on ne calcule rien de plus que $(I_P, I_\Delta, Q_P, Q_\Delta)_{33}$

20

$$\begin{aligned} I_{P3}' + jQ_{P3}' &= I_{P33} + jQ_{P33} - (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{P13} - jQ_{P13})/T - (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{P23} - jQ_{P23})/T \\ I_{\Delta3}' + jQ_{\Delta3}' &= I_{\Delta33} + jQ_{\Delta33} + (I_{P11} + jQ_{P11})(I_{\Delta13} - jQ_{\Delta13})/T + (I_{P22} + jQ_{P22})(I_{\Delta23} - jQ_{\Delta23})/T \end{aligned}$$

et en ce qu'en généralisant t, pour $x > i$:

25

$$\begin{aligned} I_{Pxi} &= + I_{Pix} \\ Q_{Pxi} &= - Q_{Pix} \\ I_{\Delta xi} &= - I_{\Delta ix} \\ Q_{\Delta xi} &= + Q_{\Delta ix} \end{aligned}$$

30

16. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'afin d'améliorer la précision de l'estimation de l'amplitude complexe des signaux reçus respectivement des satellites i, on remplace les termes I_{Pii} et Q_{Pii} dans les formules, par les termes I_{Pi}' et Q_{Pi}' , les formules devenant alors :

35

$$I_{Pi}' + j Q_{Pi}' = I_{Pii} + j Q_{Pii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + j Q_{Px}') (I_{Pix} + j Q_{Pix}) / 2T$$

$$I_{\Delta i}' + j Q_{\Delta i}' = I_{\Delta ii} + j Q_{\Delta ii} - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + j Q_{Px}') (I_{\Delta ix} + j Q_{\Delta ix}) / 2T$$

17. Récepteur de positionnement par satellite selon la
 5 revendication 16, caractérisé en ce qu'on utilise, à chaque itération du calcul, les termes corrigés I_{Pi}' et Q_{Pi}' de l'itération précédente, en initialisant le calcul avec des termes I_{Pii} et Q_{Pii} non corrigés, après la phase d'acquisition et de convergence :

$$10 \quad (I_{Pi}' + j Q_{Pi}')_n = (I_{Pii} + j Q_{Pii})_n - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + j Q_{Px}')_{n-1} \cdot (I_{Pix} + j Q_{Pix})_n \cdot 2/T$$

$$(I_{\Delta i}' + j Q_{\Delta i}')_n = (I_{\Delta ii} + j Q_{\Delta ii})_n - \sum_{\text{sur } x \text{ différent de } i} (I_{Px}' + j Q_{Px}')_{n-1} \cdot (I_{\Delta ix} + j Q_{\Delta ix})_n \cdot 2/T$$

18. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des
 15 revendications 1 à 17, caractérisé en ce lorsque le signal reçu est filtré (spectre limité), on applique le même filtrage aux signaux locaux.

19. Récepteur de positionnement par satellite selon l'une des
 revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'on acquiert un premier satellite,
 20 sans correction, par un processus de recherche classique en boucle ouverte, en ce qu'à l'issue de ce processus on passe en poursuite, on en déduit le signal local de ce premier satellite et on corrige les inter-corrélations sur les autres canaux en phase de recherche (en boucle ouverte) et en ce qu'à chaque fois qu'un nouveau satellite est acquis et poursuivi, on calcule et on
 25 applique les corrections d'intercorrélacion sur les mesures de tous les autres satellites déjà poursuivis.



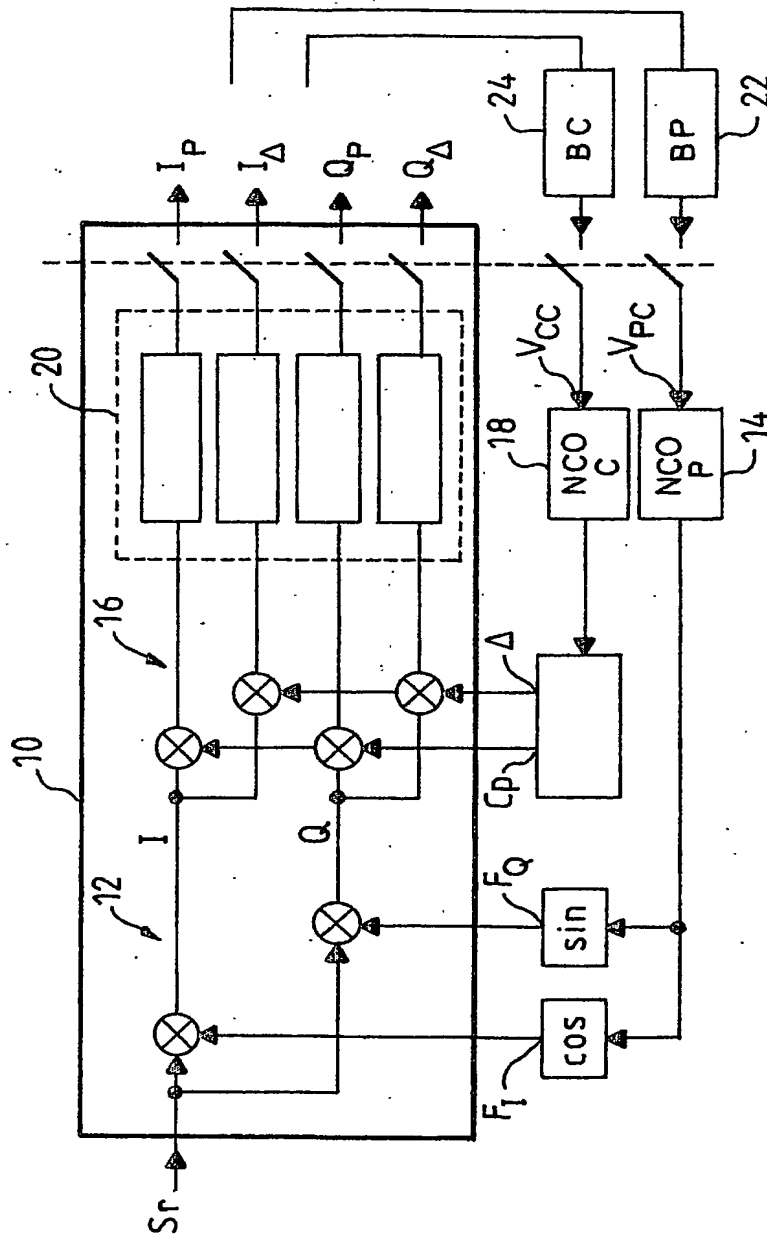
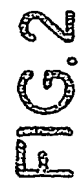


FIG. 1





3/6

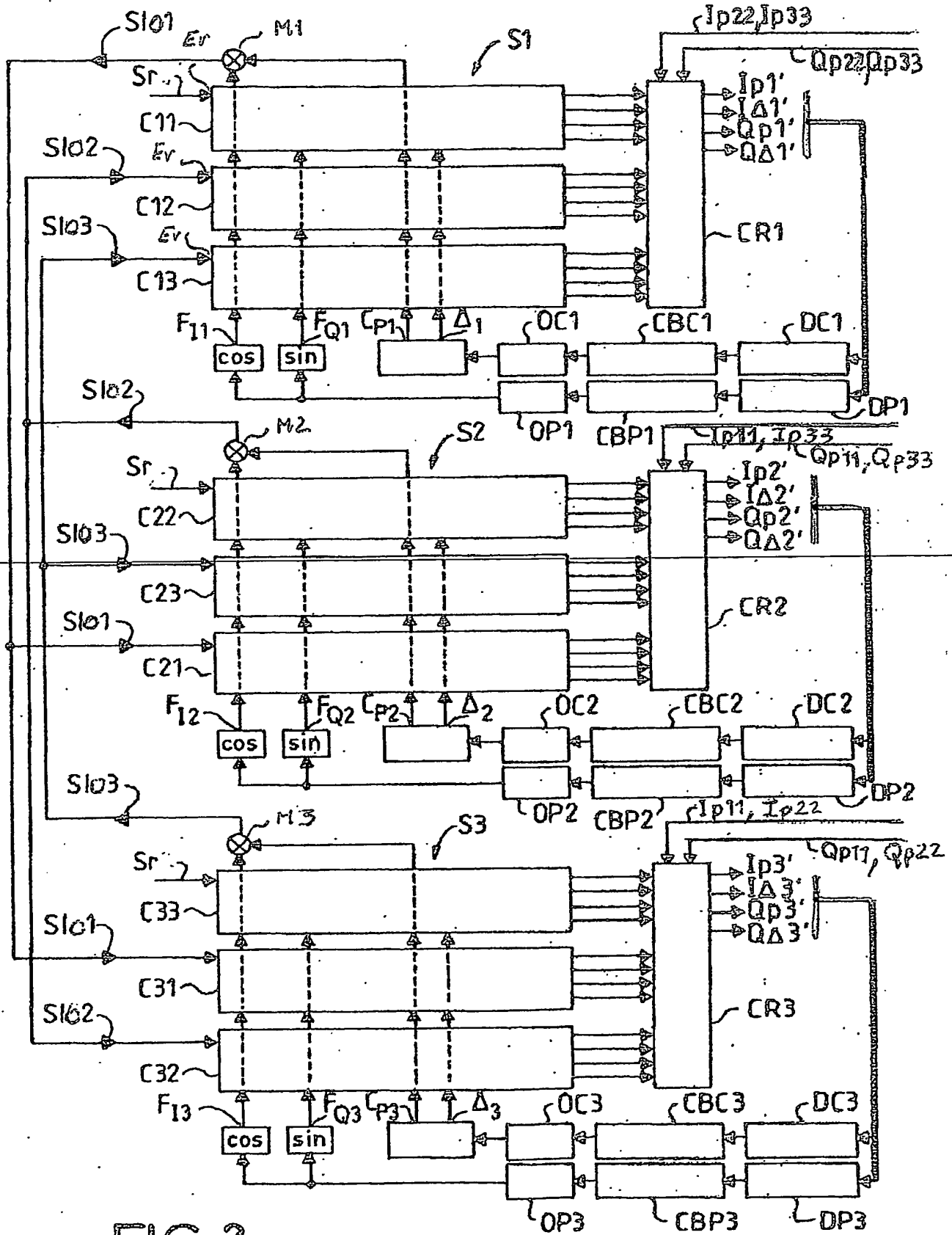


FIG. 3

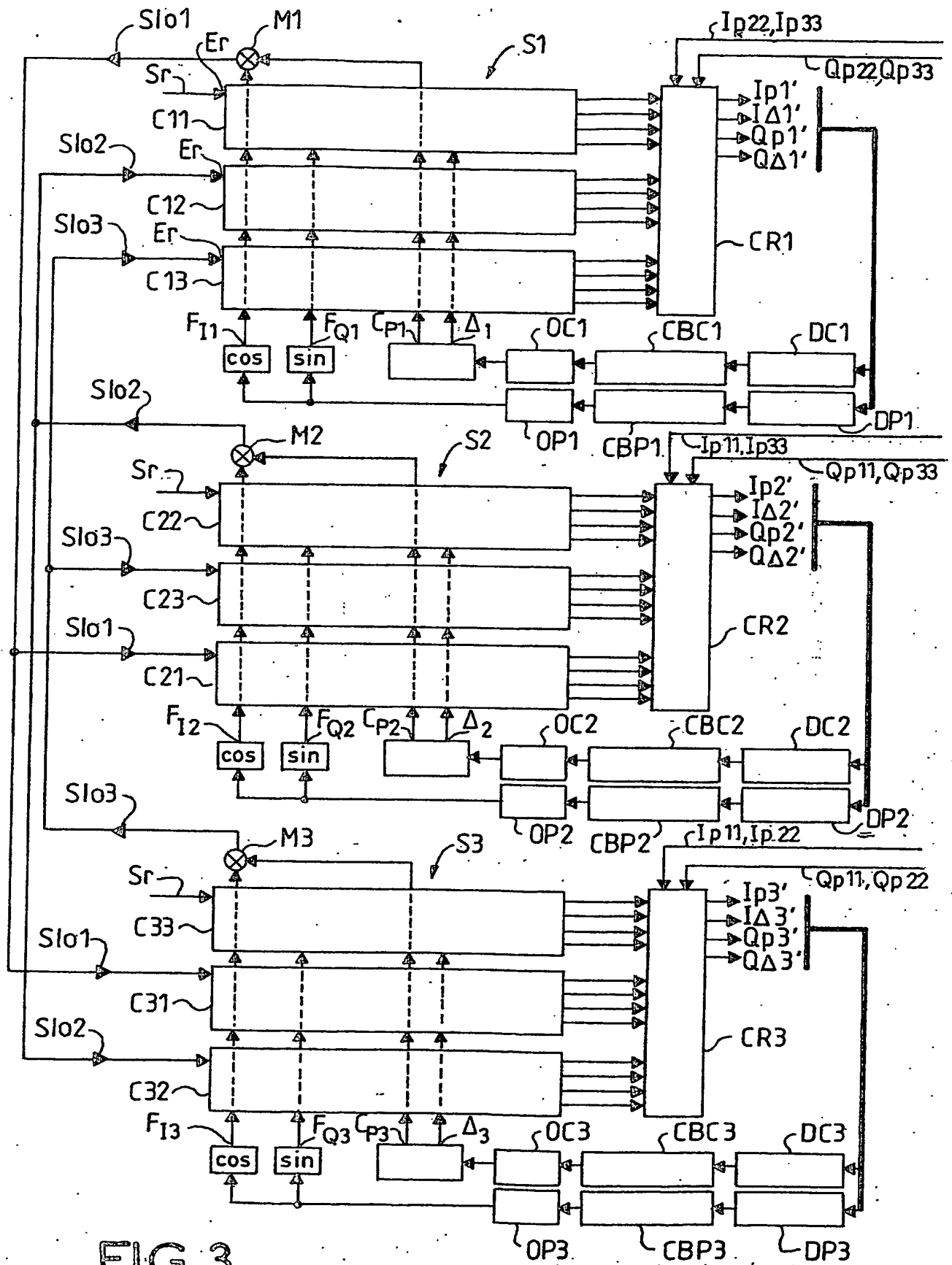
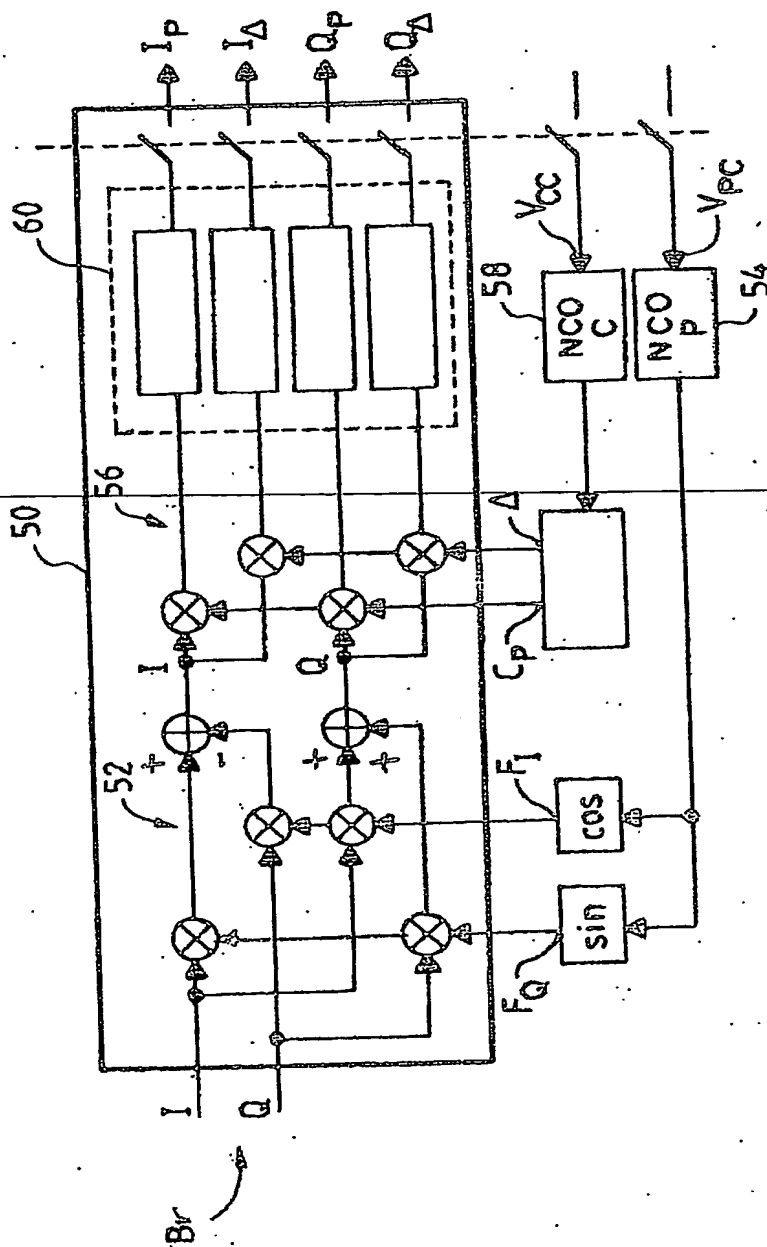


FIG. 3



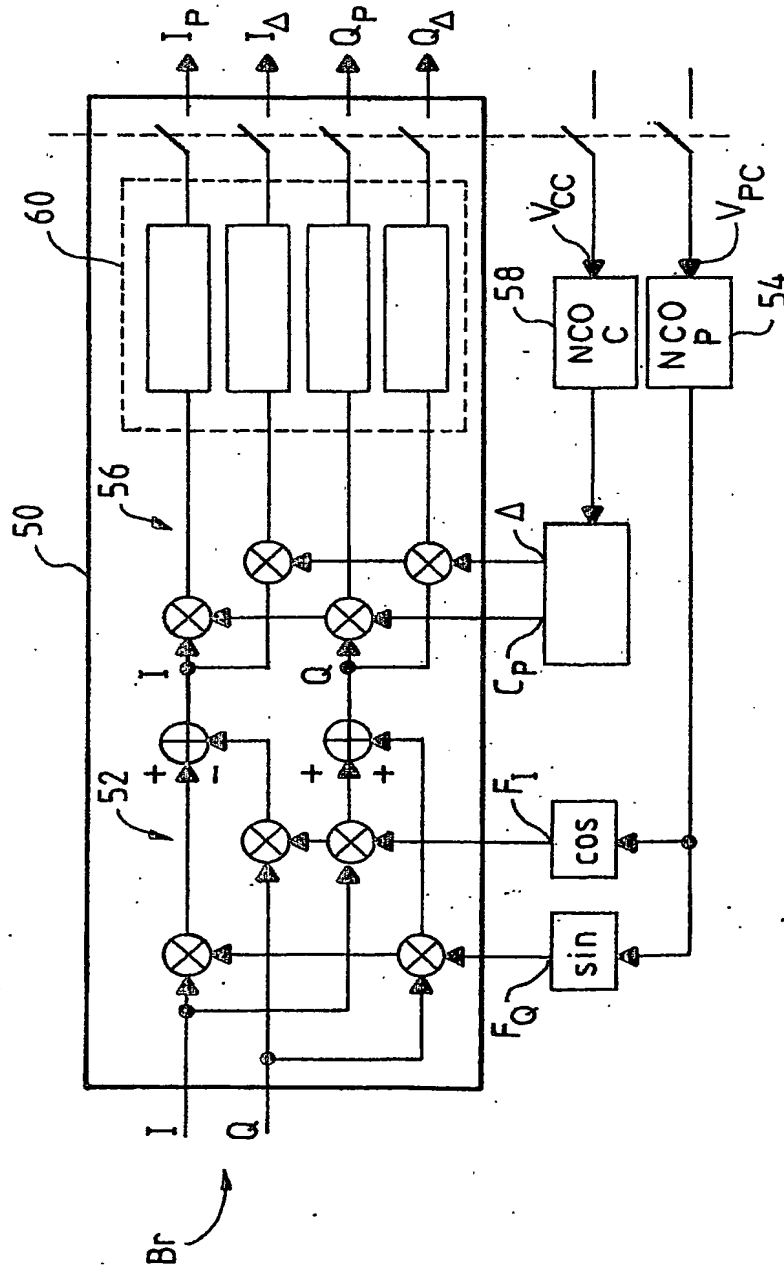


FIG. 4

5/6

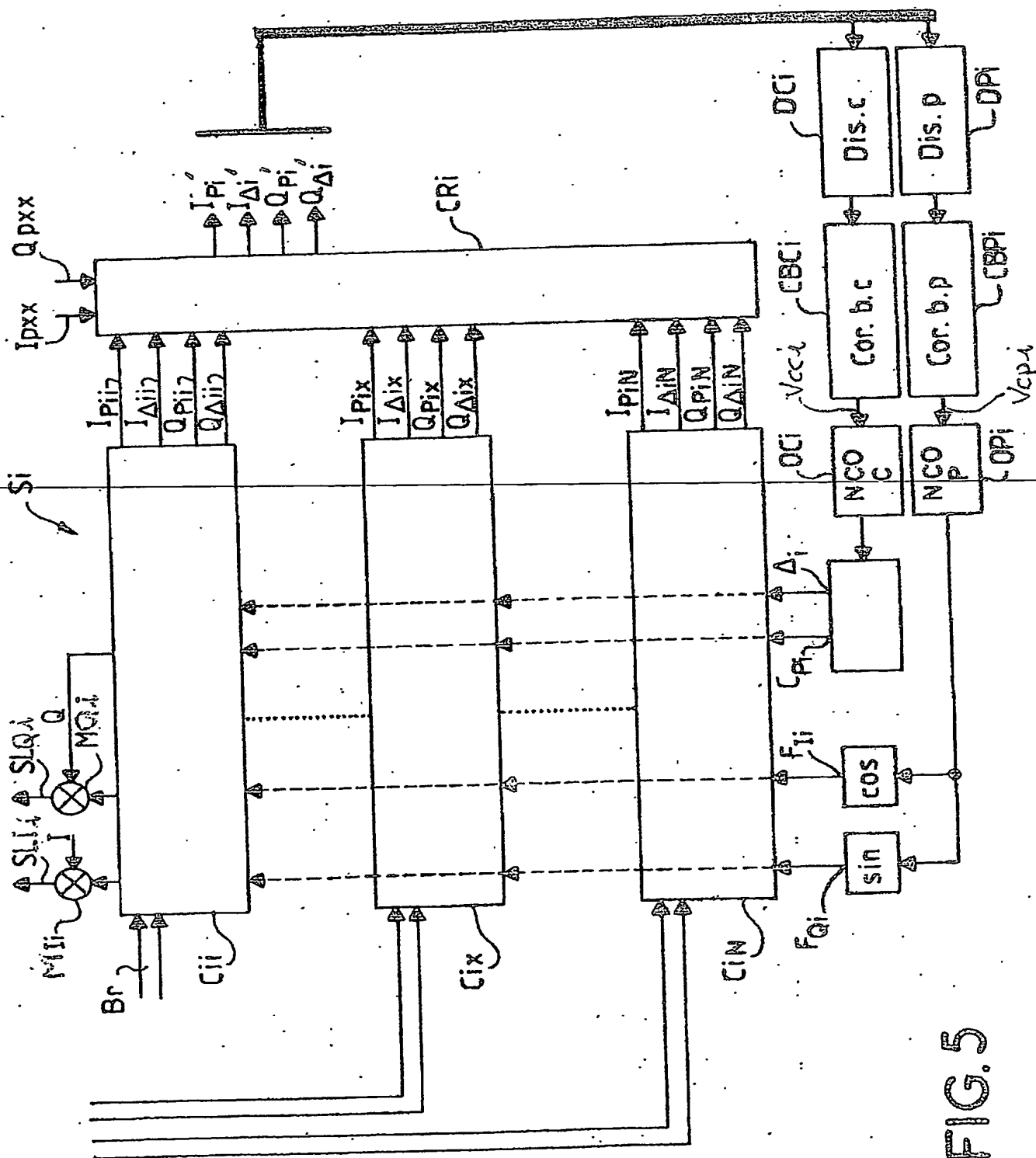


FIG. 5

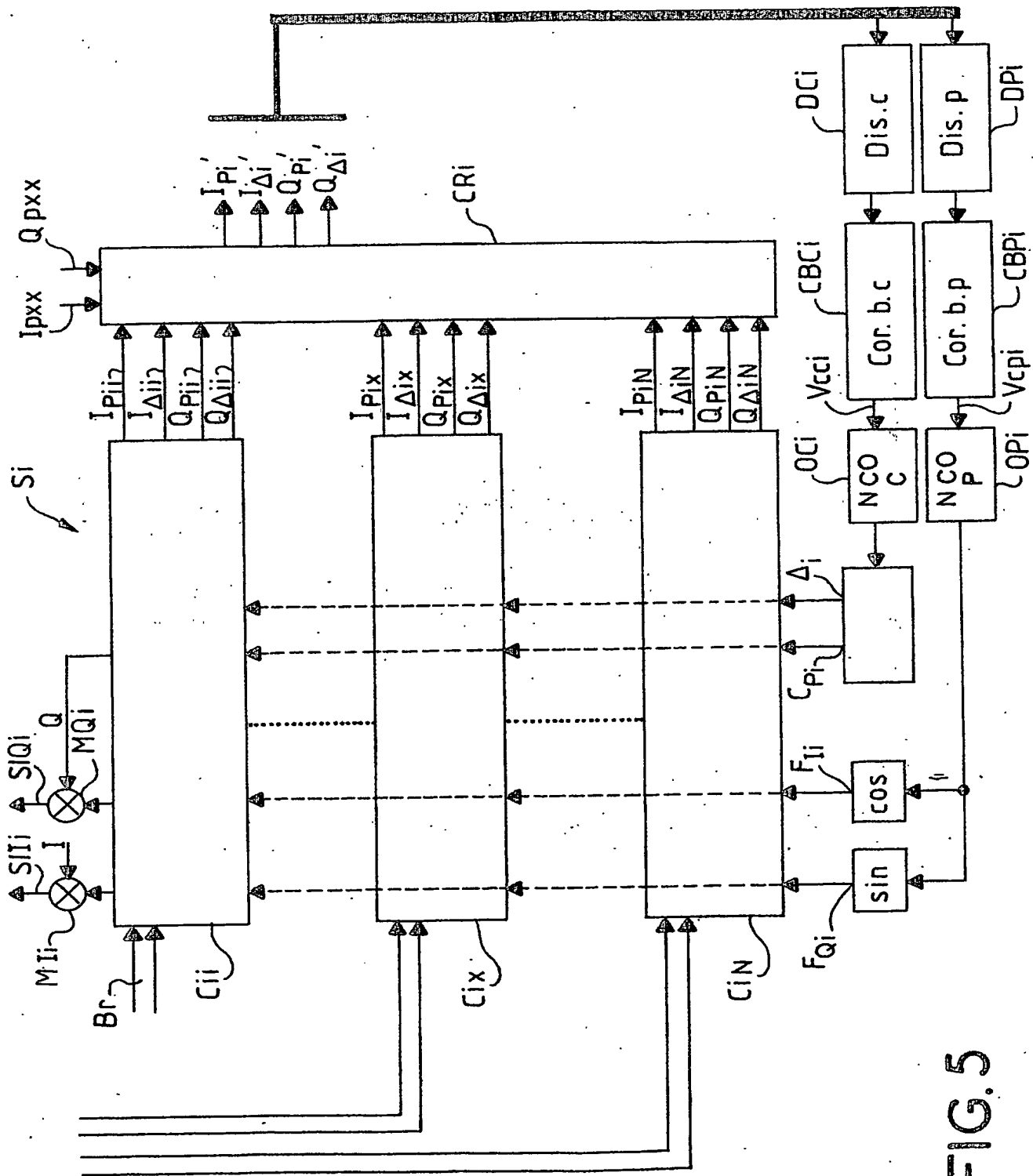


FIG. 5

6/6

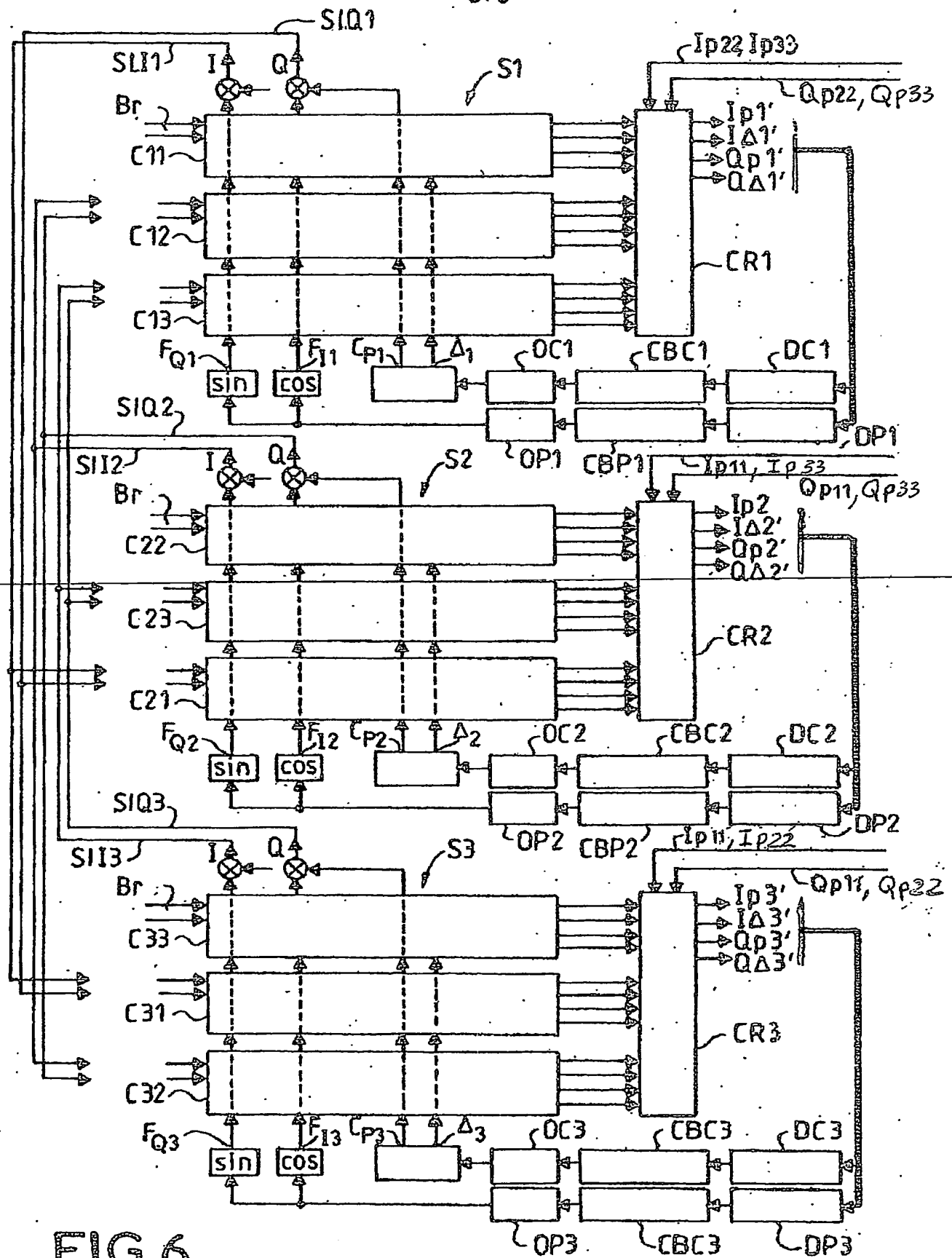


FIG. 6

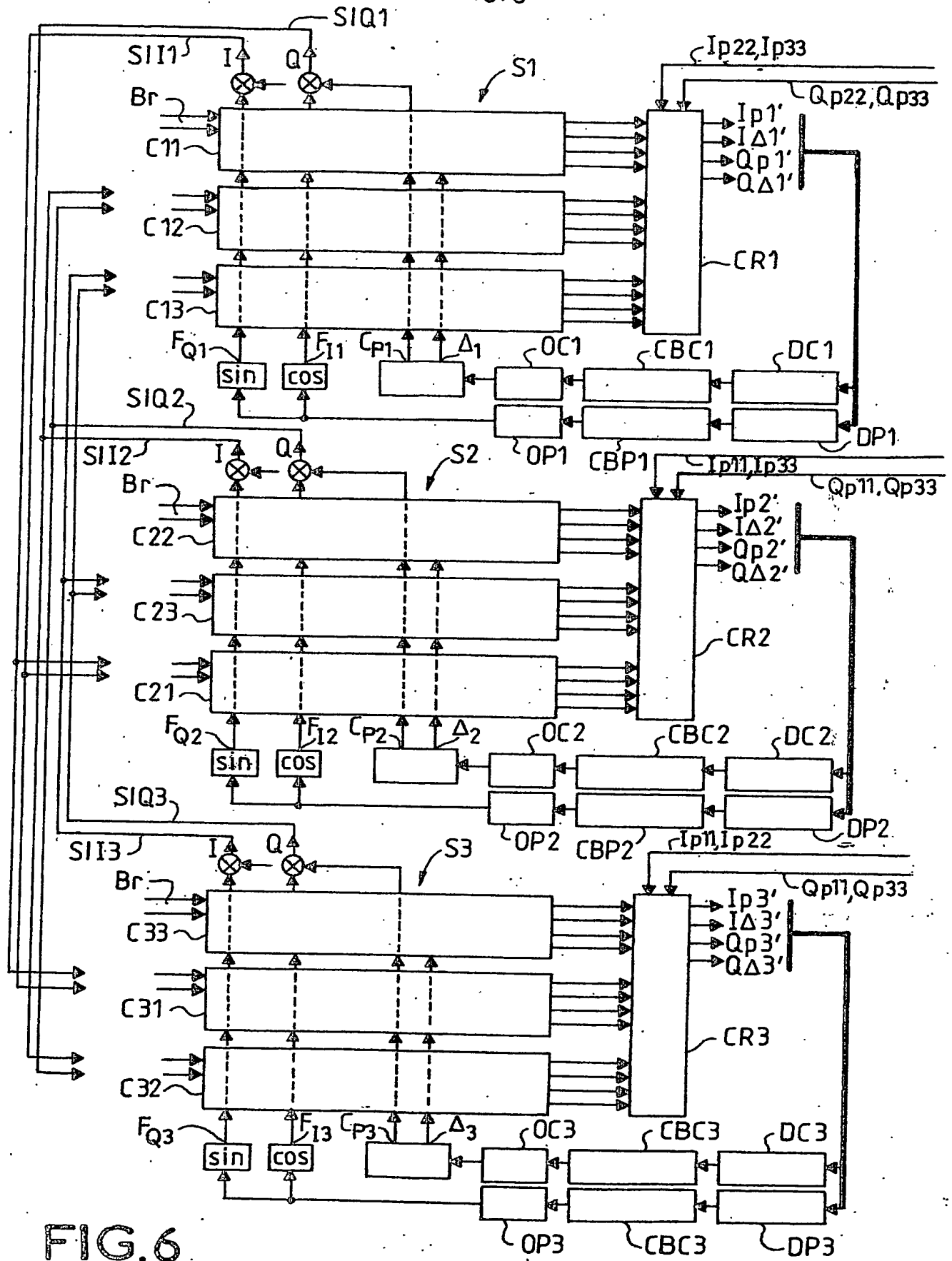


FIG. 6

reçue le 15/01/03



BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 2

Vos références pour ce dossier (facultatif)		6 2 8 5 8	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0210276	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
RECEPTEUR DE POSITIONNEMENT PAR SATELLITE AVEC CORRECTION D'ERREURS D'INTER-CORRELATION			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
THALES			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		MARTIN	
Prénoms		Nicolas	
Adresse	Rue	THALES - INTELLECTUAL PROPERTY 13, Avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
13 AOUT 2002			
Mariano DOMINGUEZ			

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.